硒源与硒水平对军曹鱼幼鱼生长性能、肝脏和血清抗氧化指标及组织硒含量的影响

杨原志[1] 聂家全[1*] 谭北平[1,2] 董晓慧[1,2**] 杨奇慧[1] 迟淑艳[1]

（1.广东海洋大学水产学院水产动物营养与饲料实验室，湛江 524088；2.南海生物资源开发与利用协同创新中心，广州 510006）

摘 要：本试验旨在研究硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼生长性能、肝脏和血清抗氧化指标及组织硒含量的影响，以确定军曹鱼幼鱼对不同硒源的最适需要量。在基础饲料中分别添加 0（对照）、0.3、0.6、0.9 和 1.2 mg/kg（以硒计）的亚硒酸钠（Se-S）和蛋氨酸硒（Se-Met），配制 9 种试验饲料（共用对照饲料），饱食投喂初始体重为（22.18±0.35） g 军曹鱼幼鱼 10 周。每种试验饲料投喂 3 个网箱（重复），每个网箱放养 30 尾试验鱼。结果表明：1）硒水平对特定生长率（SGR）和增重率（WGR）有极显著影响（P<0.01），但对成活率（SR）和饲料系数（FCR）无显著影响（P>0.05）；硒源及硒源与硒水平的交互作用对 SGR、WGR、FCR 和 SR 均无显著影响（P>0.05）。SGR 和 WGR 随着硒水平的升高先升高后降低。2）硒水平极显著影响肝脏谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、谷胱甘肽还原酶（GR）活性和丙二醛（MDA）含量及血清 GSH-Px 活性（P<0.01），并显著影响血清 GR 活性（P<0.05）；硒源极显著影响肝脏 GR、总超氧化物歧化酶（T-SOD）、过氧化氢酶(CAT)活性和 MDA 含量及血清 T-SOD 活性（P<0.01）；硒源和硒水平的交互作用显著影响肝脏 CAT 活性和 MDA 含量及血清 T-SOD 活性（P<0.05）。肝脏和血清 GSH-Px 活性随着硒水平的升高呈先升高后稳定趋势，GR 活性呈先下降后稳定趋势。2 种硒源均在添加量为 0.9 mg/kg 时有最高的肝脏 GSH-Px 活性，最低的肝脏 GR 活性。肝脏 CAT 活性随着硒水平的升高逐渐升高。3)脊椎骨、

收稿日期：2016-06-12
资助项目：公益性行业（农业）科研专项（201003020）；广东省农业攻关（2012B020307005）；广东省教育厅引进人才项目（粤财教[2013]246 号）
作者简介：杨原志（1974-），男，山东郓城人，助理研究员，硕士，从事水产动物营养与饲料研究。E-mial： hdyyz@163.com
*同等贡献作者
**通信作者：董晓慧，教授，博士生导师，E-mail: dongxiaohui2003@163.com

全鱼和肝脏硒含量随硒水平的升高而增加。硒源极显著影响脊椎骨硒含量（*P*<0.01），硒源和硒水平的交互作用极显著影响肝脏和脊椎骨硒含量（*P*<0.01）。以蛋氨酸硒和亚硒酸钠为硒源，通过二次回归曲线分析得出饲料硒水平分别为 1.29 和 1.46 mg/kg 时军曹鱼幼鱼可以获得最大 SGR。以 SGR 和全鱼硒含量为判据，军曹鱼幼鱼对蛋氨酸硒的生物利用率分别相当于亚硒酸钠的 1.20 和 2.90 倍。

关键词：军曹鱼幼鱼；硒；生长性能；抗氧化酶；硒沉积

中图分类号：S963　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

硒在自然界中以无机硒或有机硒的形式存在，长期被误认为是一种有毒物质。1957 年，Schwartz 等证实硒能预防因硒和/或维生素 E 缺乏导致的大白鼠的肝坏死[1]。随后人们相继发现硒是参与构成谷胱甘肽过氧化物酶（glutathione peroxidase，GSH-Px）的微量元素，其活性中心是硒半胱氨酸，该酶能够把过氧化氢和脂质过氧化产物分别转换成水和脂醇，保护细胞膜和亚细胞膜的多不饱和磷脂免受过氧化损伤[2]；同时，硒还能促进动物生长、提高繁殖性能、增强机体免疫力。

不同来源的硒对鱼类的生物效价、利用率和抗应激力的影响不同。Lorentzen 等[3]发现摄食添加蛋氨酸硒饲料的大西洋鲑（*Salmo salar*）肌肉和全鱼的硒含量比摄食添加亚硒酸盐饲料的大西洋鲑高。Wang 等[4]研究酵母硒、硒代蛋氨酸和亚硒酸钠对斑点叉尾鮰（*Ictalurus punctatus*）的生物效价时发现，与亚硒酸钠相比，酵母硒和硒代蛋氨酸的需要量低、相对生物效价高，鱼体 GSH-Px 活性及硒在鱼体的沉积量均较高。饲料中添加硒能提高虹鳟（*Oncorhynchus mykiss*）机体 GSH-Px 活性，且酵母硒抗应激的效果优于亚硒酸盐[5]。Jaramillo 等[6]以杂交条纹鲈(*Morone chrysops*×*M. saxatilis*)为试验对象，通过斜率比法发现蛋氨酸硒的生物效价是亚硒酸钠的 3.3 倍。

军曹鱼(*Rachycentron canadum*)，隶属鲈形目(Perciformes)，军曹鱼科(Rachycentridae)，军曹鱼属(*Rachycentron*)，亦称海鲡、海龙、海竹鱼等。军曹鱼是大型肉食性鱼类，具有生

长速度快、易于驯化摄食人工饲料、肉质鲜美等特点，是我国南方沿海海水网箱养殖的重要品种之一。

目前，仅见军曹鱼对蛋氨酸硒需要量的研究报道，如 Liu 等[7]指出军曹鱼幼鱼对蛋氨酸硒的需要量是 0.788~0.811 mg/kg，未见硒源及硒水平对军曹鱼营养生理影响的研究报道。因此，本试验拟研究饲料中不同硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼营养生理作用的影响，旨在为军曹鱼幼鱼营养需要参数数据库的完善及军曹鱼高效配合饲料的研制提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与试验饲料

以脱维酪蛋白为主要蛋白质源，玉米淀粉为糖源，玉米油、鱼油为主要脂肪源，配制基础饲料，基础饲料组成及营养水平见表 1。在基础饲料中分别添加源于亚硒酸钠（购自国药集团化学试剂有限公司）或蛋氨酸硒（购自长沙兴嘉生物工程股份有限公司）的硒，添加水平分别为 0（对照）、0.3、0.6、0.9 和 1.2 mg/kg，配制成 9 种试验饲料（共用对照饲料），对照饲料中硒含量实测值为 0.35 mg/kg，命名为 C-0.35；添加亚硒酸钠的 4 种饲料中硒水平实测值分别为 0.68、1.09、1.26、1.65 mg/kg，并分别命名为 Se-S-0.68、Se-S-1.09、Se-S-1.26、Se-S-1.65；添加蛋氨酸硒的 4 种饲料中硒含量实测值分别为 0.67、1.02、1.33、1.69 mg/kg，并分别命名为 Se-Met-0.67、Se-S-1.02、Se-S-1.33、Se-S-1.69。

表 1 基础饲料组成及营养水平（干物质基础）

Table1 Composition and nutrient levels of the basal diet （DM basis） %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
脱维酪蛋白 Vitamin-free casein[1)]	38.00
鱼粉 Fish meal	11.00
玉米淀粉 Corn starch	25.00
鱼油 Fish oil	3.00
玉米油 Corn oil	6.00
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	2.00
维生素预混料 Vitamin premix[2)]	0.30

无硒矿物质预混料 Se-free mineral premix3)	2.00
维生素 C Vitamin C	0.10
氯化胆碱 Choline chloride	0.50
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	0.50
乙氧基喹啉 Ethoxyquin	0.05
诱食剂 Attractant	0.10
羧甲基纤维素钠 Sodium carboxymethylcellulose	2.00
α-纤维素 α-cellulose	9.45
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels4)	
粗蛋白质 CP	44.02
粗脂肪 EE	11.93
粗灰分 Ash	4.64
硒 Se/(mg/kg)	0.35

1)脱维酪蛋白（粗蛋白质含量为 94%）购自美国 Sigma 公司。Vitamin-free Casein (CP content was 94%) obtained from Sigma Chemical Co., USA.

2) 维生素预混料为每千克饲料提供 The vitamin premix provided the following for per kg the diet: VB_1 25 mg，VB_2 45 mg，泛酸钙·calcium pantothenate 60 mg，烟酸 nicotinic acid 200 mg，吡哆醇 pyridoxine 20 mg，生物素 biotin 1.20 mg，VB_{12} 0.1 mg，叶酸 folic acid 20 mg，肌醇 inositol 800 mg，VA 32 mg，VD_3 5 mg，VK_3 10 mg，VE 120 mg。

3) 无硒矿物质预混料为每千克饲料提供 The Se-free mineral premix provided the following per kg the diet: $CH_3CHOHCOO_2Ca\cdot5H_2O$ 6 100 mg，Na_2HPO_4 6 200 mg，NaF 2 mg，$Ca(IO_3)_2$ 0.94 mg，$CoCl_2\cdot6H_2O$ (1%) 50 mg，$CuSO_4\cdot5H_2O$ 10 mg，$MnSO_4\cdot H_2O$ 60 mg，$FeSO_4\cdot H_2O$ 240 mg，$ZnSO_4\cdot7H_2O$ 180 mg，$MgSO_4\cdot7H_2O$ 1 200 mg，NaCl 100 mg。

4) 实测值 Measured values。

1.2 试验用鱼与饲养管理

养殖试验在广东省湛江市南三岛海上浮式鱼排中进行，试验用军曹鱼幼鱼购于广东湛江市英利镇海尾村养殖户。军曹鱼幼鱼暂养 2 周，期间投喂商品饲料。分组前停食 24 h，随机挑选规格一致、健康无病、初始体重为（22.18±0.35） g 的试验鱼进行分组，根据试验设计，共分为 9 个组，每组 3 个重复，每个重复 1 个 2.5 m×1.2 m×1.4 m 的网箱，共 27 个网箱，每个网箱放养 30 尾鱼。为减少试验误差，所有网箱均随机摆放。每种试验饲料投喂 3 个网箱，每天投喂 2 次（07:00、18:00），日投喂量为试验鱼体重的 6%~9%。养殖期间水体温度 28~33 ℃，pH 7.6~7.8，盐度 29~31，溶氧浓度>6.0 mg/L，试验期 10 周。养殖海水中硒未检出。

1.3 样品采集和指标测定

试验结束禁食 24 h 后，将各网箱试验鱼全部捞出，丁香酚（1:10 000）麻醉后称重计数。每个网箱随机抽取 5 尾鱼，用 2.5 mL 的注射器从鱼体围心腔刺入，在心脏动脉球处抽血，置于 1.5 mL 的 Eppendorf 管中，4 ℃、4 500 r/min 离心 10 min，吸取血清保存于-80 ℃冰箱中备用。每个网箱随机抽取 5 尾鱼解剖后迅速取出肝脏放入防冻管，立即放入液氮罐保存，后转存于-80 ℃冰箱中备用。每个网箱随机抽取 8 尾鱼，去除内脏后放入沸水中 3 min，剥离肌肉，取出脊椎骨，用超纯水冲洗去掉附着的肌肉。处理后的脊椎骨 105 ℃烘干，粉碎过 80 目筛，乙醚抽提 12 h 去除脂肪，并再次 105 ℃烘干[8]。

饲料成分分析：水分含量采用 105 ℃常压干燥法测定；粗蛋白质含量采用凯氏定氮法（总氮×6.25）测定；粗脂肪含量采用索氏抽提法测定；粗灰分含量采用 550 ℃马弗炉灼烧法测定。

肝脏和血清抗氧化指标测定：GSH-Px、谷胱甘肽还原酶（glutathione reductase，GR）、总超氧化物歧化酶（total superoxide dismutase，T-SOD）、过氧化氢酶（catalase，CAT）活性和丙二醛（malondialdehyde，MDA）含量采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒测定，样品前处理、试剂配制及测定步骤均严格按照操作说明书执行。

饲料、全鱼、脊椎骨和肝脏中硒含量测定：用硝酸和双氧水充分消解定量样品，用电感耦合等离子体-质谱仪测定硒含量。

1.4 计算公式

特定生长率(specific growth rate，SGR,%/d)=100×[ln(试验期末均重)-ln(试验期初均重)]/试验天数；

增重率(weight gain rate，WGR,%)=100×(试验期末均重-试验期初均重)/试验期初均重；

成活率(survival rate，SR，%)=100×试验期末鱼尾数/试验期初鱼尾数；

饲料系数(feed conversion rate，FCR)=总摄食量/(试验期末总重+死亡鱼总重-试验期初总

重)。

1.5 统计分析

试验结果用平均值±标准误表示，采用 SPSS 16.0 的一般线性模型（GLM）进行双因素方差分析，模型的主效应分析包括硒源、硒水平及两者之间的交互作用。P<0.05 表示差异显著，P<0.01 表示差异极显著。

2 结 果

2.1 硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼生长性能的影响

由表 2 可知，硒源对 SGR、WGR、FCR 和 SR 均无显著影响(P>0.05)；硒水平对 SGR 和 WGR 有极显著影响(P<0.01)，但对 SR 和 FCR 无显著影响(P>0.05)。硒源和硒水平的交互作用对 SGR、WGR、FCR 和 SR 均无显著影响(P>0.05)。SGR 和 WGR 随着硒水平的升高先升高后逐渐降低。分别以蛋氨酸硒和亚硒酸钠为硒源，通过二次回归曲线分析得出饲料硒水平分别为 1.29 和 1.46 mg/kg 时军曹鱼幼鱼可以获得最大 SGR（图 1）；以 SGR 为判据时，军曹鱼幼鱼对蛋氨酸硒的生物利用率相当于亚硒酸钠的 1.20 倍（蛋氨酸硒：y=0.209x+2.111，R^2=0.98；亚硒酸钠：y =0.175x+2.218，R^2=0.99；x 为饲料硒水平，y 为 SGR）。

表 2 硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼生长性能的影响

Table 2 Effects of Se source and Se level on growth performance of juvenile cobia

组别 Groups	特定生长率 SGR/(%/d)	增重率 WGR/%	成活率 SR/%	饲料系数 FCR
C-0.35	2.19±0.01^{a}	363.21±3.58^{a}	90.00±6.67	3.27±0.23^{b}
Se-S-0.68	2.25±0.03^{abc}	381.89±10.99^{abc}	98.89±1.11	2.76±0.15^{ab}
Se-S-1.09	2.32±0.03^{bcd}	407.49±12.33^{bcd}	85.56±7.78	3.08±0.21^{ab}
Se-S-1.26	2.37±0.02^{d}	426.80±7.78^{d}	87.78±7.29	2.85±0.21^{ab}
Se-S-1.65	2.33±0.05^{cd}	413.16±17.85^{cd}	97.78±2.22	2.52±0.15^{a}
Se-Met-0.67	2.24±0.02^{ab}	379.40±6.37^{ab}	94.44±4.01	2.97±0.08^{ab}
Se-Met-1.02	2.33±0.02^{bcd}	410.89±8.84^{bcd}	85.56±5.88	3.03±0.22^{ab}
Se-Met-1.33	2.35±0.03^{d}	417.54±9.67^{d}	90.00±7.70	2.88±0.20^{ab}
Se-Met-1.69	2.30±0.01^{bcd}	399.62±4.39^{bcd}	97.78±2.22	2.71±0.08^{ab}
双因素方差分析 P 值 P-value of two-way ANOVA				
硒源 Se source	0.490	0.472	0.886	0.443

硒水平 Se level	0.008	0.009	0.105	0.124
硒源×硒水平 Se source×Se level	0.866	0.859	0.939	0.857

同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(*P*＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(*P*＜0.05)。下表同。

In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.05). The same as below.

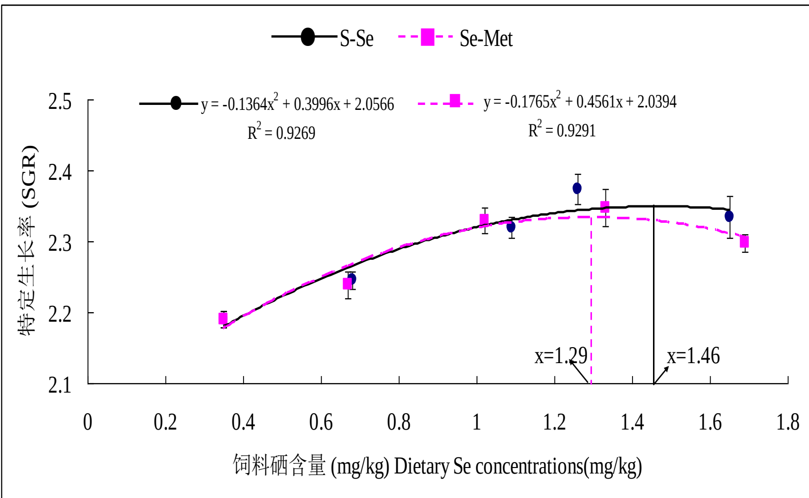


图 1　饲料硒水平与军曹鱼幼鱼特定生长率的关系（2 种硒源）

Fig.1　Relationships between dietary Se level and SGR of juvenile cobia　（2 Se sources）

2.2　硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼肝脏和血清抗氧化指标的影响

由表 3 可知，硒源极显著影响肝脏 GR、T-SOD、CAT 活性和 MDA 含量及血清 T-SOD 活性(*P*<0.01)，但对肝脏 GSH-Px 活性及血清 GSH-Px、GR、CAT 活性和 MDA 含量无显著影响(*P*>0.05)。硒水平极显著影响肝脏 GSH-Px、GR 活性和 MDA 含量及血清 GSH-Px 活性(*P*<0.01)，显著影响血清 GR 活性(*P*<0.05)，但对肝脏 T-SOD、CAT 活性及血清 T-SOD、CAT 活性和 MDA 含量无显著影响(*P*>0.05)；硒源和硒水平的交互作用对肝脏 CAT 活性、MDA 含量和血清 T-SOD 活性有显著影响(*P*<0.05)，但对肝脏 GSH-Px、GR、T-SOD 活性及血清 GSH-Px、GR、CAT 活性和 MDA 含量无显著影响(*P*>0.05)。肝脏和血清 GSH-Px 活性随着硒水平的升高表现为先升高后稳定的趋势，GR 活性则表现为先下降后稳定的趋势。2 种硒源中，分别以 Se-S-1.26 组和 Se-Met-1.33 组的肝脏 GSH-Px 活性最高，并均显著高于对照组（C-0.35 组）(*P*<0.05)；同时这 2 组的肝脏 GR 活性最低，并均显著低于对照组(*P*<0.05)；肝

脏CAT活性随着硒水平的升高逐渐升高，在以亚硒酸钠为硒源的组中，Se-S-1.65组肝脏CAT活性显著高于除Se-S-1.26组外的其他3组；在以蛋氨酸硒为硒源的组中，Se-Met-1.69组肝脏CAT活性显著高于其他各组($P<0.05$)。各组间血清CAT活性无显著差异($P>0.05$)

表 3　硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼肝脏和血清抗氧化指标的影响

Table 3　Effects of Se source and Se level on antioxidant indices in liver and serum of juvenile cobia

组别 Groups	肝脏 Liver 谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/ (U/mg prot)	肝脏 Liver 谷胱甘肽还原酶 GR/ (U/g prot)	肝脏 Liver 丙二醛 MDA/ (nmol/mg prot)	肝脏 Liver 总超氧化物歧化酶 T-SOD/ (U/mg prot)	肝脏 Liver 过氧化氢酶 CAT/ (U/mg prot)	血清 Serum 谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/ (×10 U/L)	血清 Serum 谷胱甘肽还原酶 GR/ (U/L)	血清 Serum 丙二醛 MDA/ (nmol/mL)	血清 Serum 总超氧化物歧化酶 T-SOD/ (U/mL)	血清 Serum 过氧化氢酶 CAT/ (U/mL)
C-0.35	356.71±3.10^{a}	66.22±1.24^{d}	6.59±0.19^{c}	55.47±1.15^{a}	21.62±0.74^{a}	154.75±0.48^{a}	26.26±0.07^{c}	5.41±0.24	15.57±1.70^{ab}	4.15±0.11
Se-S-0.68	358.83±3.68^{a}	64.98±0.73^{cd}	6.54±0.18^{bc}	54.52±1.15^{a}	24.50±0.31^{bc}	157.13±0.94^{a}	23.04±0.54^{b}	5.31±0.32	16.79±0.43^{ab}	4.28±0.10
Se-S-1.09	375.82±2.35^{bc}	62.04±0.40^{bc}	6.32±0.01^{abc}	57.46±0.88^{ab}	24.82±0.06^{c}	156.70±1.31^{a}	20.36±0.54^{ab}	5.13±0.08	15.49±0.18^{ab}	4.29±0.11
Se-S-1.26	382.79±2.41^{c}	61.06±0.40^{b}	5.94±0.10^{a}	59.56±0.70^{abc}	29.70±0.45^{e}	159.06±2.21^{ab}	19.83±0.24^{a}	5.07±0.04	15.14±0.19^{a}	4.45±0.19
Se-S-1.65	374.70±2.54^{bc}	62.03±0.99^{bc}	7.00±0.03^{d}	57.66±1.12^{ab}	29.77±0.61^{e}	159.45±0.72^{ab}	20.90±0.10^{ab}	5.04±0.02	16.87±0.04^{ab}	4.55±0.14
Se-Met-0.67	359.85±3.90^{a}	62.22±1.48^{bc}	6.33±0.18^{abc}	62.60±1.83^{bcd}	23.42±0.22^{b}	166.76±0.37^{c}	23.04±0.14^{b}	5.22±0.28	16.51±0.79^{ab}	4.40±0.22
Se-Met-1.02	369.42±1.35^{abc}	59.42±0.03^{ab}	6.14±0.11^{ab}	64.86±1.69^{d}	25.72±0.24^{c}	165.56±2.12^{c}	20.36±0.34^{ab}	5.21±0.23	17.81±0.34^{b}	4.39±0.07
Se-Met-1.33	377.92±1.44^{bc}	57.89±0.48^{a}	5.91±0.05^{a}	66.88±2.52^{d}	28.21±0.35^{d}	162.55±0.53^{bc}	19.83±0.54^{a}	5.09±0.07	17.22±0.07^{ab}	4.59±0.19
Se-Met-1.69	368.64±3.73^{ab}	58.03±0.46^{a}	6.06±0.14^{a}	63.37±1.49^{cd}	30.18±0.41^{e}	163.48±1.62^{bc}	21.97±0.54^{ab}	5.00±0.11	17.67±0.29^{b}	4.49±0.09
双因素方差分析 *P* 值 *P*-value of two-way ANOVA										
硒源 Se source	0.182	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.946	0.675	0.951	0.001	0.481
硒水平 Se level	0.001	0.001	<0.001	0.087	0.241	<0.001	0.012	0.570	0.111	0.423
硒源×硒水平 Se source×Se level	0.789	0.867	0.006	0.908	0.013	0.916	0.907	0.968	0.021	0.902

2.3 硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼组织硒含量的影响

由表 4 可知，硒源极显著的影响脊椎骨硒含量(P<0.01)，但对全鱼和肝脏硒含量无显著影响(P>0.05)。硒水平对脊椎骨、全鱼和肝脏硒含量有极显著影响(P<0.01)，脊椎骨、全鱼和肝脏硒含量随着饲料硒水平的升高而升高。硒源和硒水平的交互作用对全鱼硒含量没有显著影响(P>0.05)，但对肝脏和脊椎骨硒含量有极显著影响(P<0.01)。以全鱼硒含量为判据时，军曹鱼幼鱼对蛋氨酸硒的生物利用率相当于亚硒酸钠的 2.90 倍（蛋氨酸硒：y =0.938x+0.052，R^2=0.99；亚硒酸钠：y =0.323x+2.252，R^2=0.99；x 为饲料硒水平，y 为全鱼硒含量）。

表 4 硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼组织硒含量的影响

Table 4 Effects of Se source and Se level on Se content in tissues of juvenile cobia mg/kg

组别 Groups	全鱼硒 Whole body Se	肝脏硒 Liver Set	脊椎骨硒 Vertebra Se
C-0.35	0.79±0.02[a]	0.36±0.02[a]	0.46±0.02[a]
SSe-0.68	0.85±0.03[a]	0.72±0.05[d]	0.43±0.01[a]
SSe-1.09	1.14±0.04[bc]	0.99±0.04[f]	0.53±0.01[b]
SSe-1.26	1.27±0.05[c]	0.81±0.02[de]	0.53±0.02[b]
SSe-1.65	1.34±0.09[c]	0.74±0.01[de]	0.52±0.01[b]
MSe-0.67	0.94±0.05[ab]	0.48±0.04[b]	0.50±0.02[b]
MSe-1.02	1.20±0.04[c]	0.60±0.04[c]	0.63±0.01[c]
MSe-1.33	1.29±0.02[c]	1.19±0.05[g]	0.94±0.02[d]
MSe-1.69	1.40±0.04[c]	0.83±0.03[e]	0.95±0.01[d]
双因素方差分析 P 值 P-value of two-way ANOVA			
硒源 Se source	0.350	0.124	<0.001
硒水平 Se level	<0.001	<0.001	<0.001
硒源×硒水平 Se source×Se level	0.986	<0.001	<0.001

3 讨 论

3.1 硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼生长性能的影响

在本试验中，摄食未添加硒饲料的军曹鱼幼鱼生长缓慢，饲料硒水平对 SGR 和 WGR 有极显著影响，但对 SR 和 FCR 无显著影响，SGR 和 WGR 随着硒水平的升高先升高后逐渐降低，这表明饲料中硒缺乏或过高都会降低军曹鱼幼鱼的生长性能，这与对黄尾鰤[9]

（*Seriola lalandi*）的研究结果相似。Han 等[10]报道，饲料中添加硒能够促进异育银鲫（*Carassius auratus gibelio*）的生长，饲料硒水平达到 1.85 mg/kg 后，生长趋于平稳。研究发现，适宜的饲料硒水平能够促进军曹鱼生长，当饲料硒水平达到 0.85 mg/kg 以上时鱼体生长趋于平稳，组间无显著差异[7]。来源于蛋氨酸硒和亚硒酸钠的硒均能提高点带石斑鱼（*Epinephelus malabaricus*）的 WGR，当饲料硒水平达到 0.80 mg/kg 后 WGR 趋于稳定[11]。大黄鱼（*Larimichthys croceus*）幼鱼 WGR 随饲料硒水平的升高而增加，当饲料硒水平达到 0.27 mg/kg 后趋于稳定[12]。鲤鱼（*Cyprinus carpio*）WGR 随饲料中纳米硒水平的升高而增加，当饲料硒水平达到 1 mg/kg 时 WGR 达到最大值[13]。饲料中高水平硒(13 mg/kg)会对虹鳟造成慢性中毒，表现出生长缓慢、死亡率增高等症状[14]。鱼类对硒的营养需要量与中毒剂量间的范围较窄[15]，冷水性鱼类对硒的毒性比温水性鱼类敏感[16]。饲料中一定量的硒可以引起鱼体中毒死亡而没有抑制生长，但也有相反的情况，即抑制生长而没有中毒死亡[17]，这可能是与饲料硒的添加形式及添加量，试验动物品种、体重以及试验期、养殖环境等因素有关。

在本试验中，饲料中来自于亚硒酸钠和蛋氨酸硒的硒分别为 1.46 和 1.29 mg/kg 时，军曹鱼可获得最大的 SGR，高于斑点叉尾鮰(0.25[2]、0.12 mg/kg [4])、军曹鱼[7]（0.85 mg/kg)、大黄鱼[12](0.18 mg/kg)、虹鳟鱼[14](0.38 mg/kg)、点带石斑鱼[18](0.77 mg/kg)、中华绒螯蟹[19]（*Eriocheir sinensis*）(0.51 mg/kg)、杂交条纹鲈[20]（0.40 mg/kg）、鲈鱼[21]（*Lateolabrax japonicus*）(0.63 mg/kg)，但低于黄尾鰤[9]（5.56 mg/kg）、大口黑鲈（*Micropterus salmoide*）[22](1.60~1.85 mg/kg)，远低于克氏鲑[23]（*Oncorhynchus clarkii*）(9.2 mg/kg)、黑海鳇[24]（*Huso huso*）(11.56 mg/kg)，与杂交条纹鲈[6]（1.19 mg/kg）、异育银鲫[10]（1.18 mg/kg）、鲤鱼[13]（1.46 mg/kg）的硒需要量相似。影响鱼类对硒需要量的原因较多，如试验鱼的种类、硒添加形式、水体硒含量、饲料中维生素 E 含量等。已有报道指出大西洋鲑鱼[3]、斑点叉尾鮰[4]、石斑鱼[11]和黄尾鰤[25]对有机硒的利用率比无机硒高。在提高凡纳滨对虾（*Litopenaeus*

vannamei）生长性能和抗氧化能力方面，蛋氨酸硒要优于酵母硒和亚硒酸钠[26]。饲料中的维生素 E 与硒的交互作用可以影响到鱼类对硒的需要量[18]，饲料中的维生素 E 和硒在鱼体内共同形成抗氧化防御系统，鱼体对维生素 E 或硒的摄入量减少时，则需要从饲料中补充较高的硒或维生素 E[27]。鱼类可以通过鳃和皮肤从水环境中吸收矿物质元素，在斑点叉尾鮰[2]和虹鳟[14]的试验中，水体的硒含量为 0.4~2.5 μg/L，而本试验中养殖海水中未检出硒，这也可能是本试验中军曹鱼幼鱼对硒需要量略高的原因之一。在本试验中，军曹鱼幼鱼对蛋氨酸硒的需要量比亚硒酸钠低，以 SGR 为评价指标时蛋氨酸硒的生物利用率是亚硒酸钠的 1.20 倍。Wang 等[4]在研究不同硒源（亚硒酸钠、蛋氨酸硒和酵母硒）对斑点叉尾鮰生物效价时发现，斑点叉尾鮰对有机硒的需要量比无机硒低，蛋氨酸硒的生物效价比亚硒酸钠硒高，在杂交条纹鲈[6]和黄尾鰤[25]对不同硒源的研究中也得出类似结果。Bell 等[28]也认为大西洋鲑对蛋氨酸硒的消化吸收能力比亚硒酸钠高。这些结果与本试验结果相似。

3.2　硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼肝脏和血清抗氧化指标的影响

在本试验中，硒水平对肝脏和血清 GSH-Px 和 GR 活性有显著影响。GSH-Px 活性随着硒水平的升高先逐渐升高后趋于稳定，GR 活性随着硒水平的升高先逐渐降低后趋于稳定。这表明饲料中添加硒可以提高军曹鱼幼鱼机体的 GSH-Px 活性，降低 GR 活性。已有文献报道饲料缺硒会降低斑点叉尾鮰[4]和黄尾鰤[25]机体的 GSH-Px 活性，而军曹鱼[7]和点带石斑鱼[18]机体的 GSH-Px 活性则随饲料硒水平的升高而升高。Zhu 等[22]对大口黑鲈的研究也发现，肝脏 GSH-Px 活性随着硒水平的升高逐渐升高，而 GR 活性则随着硒水平的升高逐渐降低，当饲料硒水平大于 1.85 mg/kg 后达到稳定；Ashouri 等[13]研究表明，纳米硒可显著提高鲤鱼肝脏 GSH-Px 活性。随饲料硒水平的升高，中华绒螯蟹血清、肝胰腺 GSH-Px 活性及血清 GR 活性呈先升高后降低趋势，而肝胰腺 GR 活性则表现为先升高后稳定[19]。在含不同水平羽扇豆蛋白的饲料中添加有机硒可提高尖吻鲈（*Lates calcarifer*）血浆中 GSH-Px 活性[29]。饲料硒水平为 0~0.4 mg/kg 时，鲈鱼的肝脏和血清中 GSH-Px 活性随着硒水平的升高而升高，

而当饲料硒水平为 0.8~1.0 mg/kg 时，鲈鱼的肝脏和血清中 GSH-Px 活性则明显下降[30]，上述结果与本试验结果一致。

有机硒更能够有效地提高斑点叉尾鮰[4]和鲤鱼[31]机体的 GSH-Px 活性。在本试验中，饲料硒添加量到 0.9 mg/kg 时，蛋氨酸硒组肝脏和血清的 GSH-Px 活性均高于亚硒酸钠组。Cotter 等[20]研究发现，杂交条纹鲈饲料中硒添加量达到 0.4 mg/kg 时，亚硒酸钠组肝脏 GSH-Px 活性高于酵母硒组。Bell 等[28]研究发现，亚硒酸钠组和半胱氨酸硒组大西洋鲑的血清 GSH-Px 活性高于蛋氨酸硒组。但也有研究表明有机硒和无机硒与黄尾鰤[25]红细胞和虹鳟鱼[32]肝脏 GSH-Px 活性没有直接关系。这也可能源于不同硒源在不同鱼种中的吸收利用途径不同，硒在鱼体的吸收利用和在不同组织中的代谢途径尚不清楚，还需进一步研究。

MDA 是脂质氧化产物，经常用作氧化胁迫指标之一[33]。Zhu 等[22]对大口黑鲈的研究发现饲料中硒水平对肝脏 MDA 含量没有显著影响，并认为这是由于饲料中有较多的抗氧化剂（维生素 E：400 mg/kg，维生素 C：1 000 mg/kg）与活性氧起反应从而掩盖掉硒在体内的抗氧化作用所致。在本试验中，硒水平和硒源的交互作用对肝脏 MDA 含量有显著影响，对血清 MDA 含量没有显著影响。亚硒酸钠组和蛋氨酸硒组的肝脏 MDA 含量均随着饲料中硒水平的升高先下降后升高。这可能与本试验中抗氧化剂（维生素：120 mg/kg，维生素 C：350 mg/kg）含量相对较低有关。当饲料中硒达到较高水平时，可能超出了鱼体的需要量，且对鱼体有一定的毒害作用，因此造成鱼体氧自由基代谢紊乱，T-SOD 和 GSH-Px 活性下降，自由基含量升高，MDA 含量升高。这与人类硒营养研究中硒生物效应与硒水平的关系相似，即当硒水平在适宜范围内时能够有效地清除生物体内的活性自由基，而当硒水平较高时则会催化产生活性自由基[34]。中华绒螯蟹[19]血清、肝脏中 MDA 含量及鲈鱼[21]血清中 MDA 含量随饲料硒水平的升高呈先降低后升高趋势，与本试验结果类似；而凡纳滨对虾血清 MDA 含量则随饲料硒水平的升高呈逐渐下降趋势[26]。

在鱼体内 GSH-Px、T-SOD 和 CAT 共同起作用，清除超氧阴离子、羟自由基和过氧化

氢，减少脂质过氧化物的损害。在本试验中，肝脏 CAT 活性随着硒水平的升高逐渐升高，Se-S-1.65 组和 Se-Met-1.69 组的肝脏 CAT 活性高于同一硒源的其他组；肝脏 T-SOD 活性随硒水平的升高先升高后降低，2 种硒源中分别以 Se-S-1.26 组和 Se-Met-1.33 组肝脏 T-SOD 活性最高，这表明饲料中添加硒能够提高军曹鱼幼鱼体内 CAT 和 T-SOD 的活性。Monteiro 等[35]发现饲料补充硒能够提高缺帘鱼(*Brycon cephalus*)肝脏 CAT 和 T-SOD 活性，共同抵抗甲基对硫磷毒性的氧化胁迫，未添加硒组肝脏 T-SOD 和 CAT 活性降低。在异育银鲫饲料中添加硒至 1 mg/kg 时，血清 T-SOD 活性达到最大值，添加至 5 mg/kg 时血清 T-SOD 活性显著降低；饲料中添加硒对异育银鲫血清 CAT 活性没有产生显著影响，但血清 CAT 活性有随饲料硒水平的升高而下降的趋势，表明饲料中过量的硒降低了血清 CAT 和 T-SOD 活性[10]。鲈鱼血清和肝脏超氧化物歧化酶（SOD）活性随饲料硒水平的升高呈先上升后下降趋势[21]。饲料中添加硒提高了吉富罗非鱼（*Oreochromis niloticus*）血清中 CAT 和 T-SOD 的活性[36]。

3.3　硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼组织硒含量的影响

硒可在机体内蓄积，当硒摄入量不足时，组织硒能够释放，补充机体生长和代谢需要；当硒摄入过量时，硒通过肝胰脏和肾脏加速积累而出现中毒现象。Han 等[10]发现异育银鲫的肝脏和全鱼硒含量随饲料硒添加量的增加而逐渐升高，肌肉硒沉积能力强于肝脏。Lin 等[18]发现点带石斑鱼全鱼硒含量随饲料硒添加量的增加而逐渐升高，全鱼硒含量是一个很好衡量硒效价的指标。研究发现军曹鱼的脊椎骨和全鱼硒含量随着饲料硒添加量的增加而逐渐升高，当饲料硒水平分别达到 0.793 和 0.811 mg/kg 时趋于稳定[7]。在本试验中，脊椎骨和全鱼硒含量随着饲料硒水平的升高而升高，说明饲料中添加一定量的硒可促进军曹鱼幼鱼脊椎骨和全鱼硒的积累。随饲料硒水平的升高，方格星虫[37]（*Sipunculus nudus* Linnaeus）体壁和虫体硒含量及大黄鱼[12]全鱼、骨骼硒含量表现为先上升后稳定趋势；而中华绒螯蟹[19]肝胰脏、肌肉硒含量与鲈鱼[21]全鱼、肝脏硒含量则表现为不断上升的趋势。黄尾鰤肝脏和肌肉硒含量随饲料硒水平的升高而极显著的升高，作者认为肝脏和肌肉硒含量可

作为饲料硒营养的有效指标[38]。本试验中，硒源和硒水平对军曹鱼幼鱼肝脏硒含量的影响不同，蛋氨酸硒组全鱼和脊椎骨硒含量均高于亚硒酸钠组，当饲料硒添加量为 0.6 mg/kg 时，亚硒酸钠组肝脏硒含量高于蛋氨酸硒组。Lorentzen 等[3]发现大西洋鲑全鱼、肝脏和肌肉的硒含量随饲料硒水平的升高而升高，其中蛋氨酸硒组的全鱼硒含量比亚硒酸钠组高，但当饲料硒添加量达到 2 mg/kg 时，亚硒酸钠组肝脏硒含量高于蛋氨酸硒组，并认为这 2 种硒源代谢途径不一样。Rider 等[5]研究发现摄食含有机硒饲料的虹鳟幽门盲囊硒含量低于摄食含无机硒饲料的虹鳟，而全鱼、肌肉和鳃盖的硒含量却高于摄食含无机硒饲料的虹鳟。有机硒效价高于无机硒，这可能与硒源的代谢路径相关，亚硒酸钠是遵循硒的常规代谢途径，酵母硒和蛋氨酸硒可能是遵循蛋氨酸的代谢途径[39]，蛋氨酸硒能够特异性结合到软组织的蛋白质中，从而提高软组织硒含量[40]。

4 结 论

① 以亚硒酸钠和蛋氨酸硒为硒源，通过二次回归曲线分析得出饲料硒水平分别为 1.46 和 1.29 mg/kg 时军曹鱼幼鱼可以获得最大 SGR。

② 以 SGR 为判据时，军曹鱼幼鱼对蛋氨酸硒的生物利用率相当于亚硒酸钠的 1.20 倍；以全鱼硒含量为判据时，军曹鱼幼鱼对蛋氨酸硒的生物利用率相当于亚硒酸钠的 2.90 倍。

参考文献：

[1] SCHWARZ K,FOLTZ C M.Selenium as an integral part of factor 3 against dietary liver degeneration[J].Journal of the American Chemical Society,1957,79(12):3292–3293.

[2] GATLIN Ⅲ D M,WILSON R P.Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish.[J].The Journal of Nutrition,1984,114(3):627–633.

[3] LORENTZEN M,MAAGE A,JULSHAMN K.Effects of dietary selenite or selenomethionine on tissue selenium levels of Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J].Aquaculture,1994,121(4):359–367.

[4] WANG C,LOVELL R T.Organic selenium sources,selenomethionine and selenoyeast,have

higher bioavailability than an inorganic selenium source,sodium selenite,in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J].Aquaculture,1997,152(1/2/3/4):223–234.

[5] RIDER S A,DAVIES S J,JHA A N,et al.Supra-nutritional dietary intake of selenite and selenium yeast in normal and stressed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*):implications on selenium status and health responses[J].Aquaculture,2009,295(3/4):282–291.

[6] JARAMILLO F,Jr,PENG L,GATLIN Ⅲ D M.Selenium nutrition of hybrid striped bass (*Morone chrysops*×*M.saxatilis*) bioavailability,toxicity and interaction with vitamin E[J].Aquaculture Nutrition,2009,15(2):160–165.

[7] LIU K,WANG X J,AI Q H,et al.Dietary selenium requirement for juvenile cobia,*Rachycentron canadum* L.[J].Aquaculture Research,2010,41(10):e594–e601.

[8] AOAC.Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists[S].16th ed.Arlington,VA:AOAC,1995.

[9] LE K T,FOTEDAR R.Dietary selenium requirement of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*)[J].Agricultural Sciences,2013,4(6A):68–75.

[10] HAN D,XIE S,LIU M,et al.The effects of dietary selenium on growth performances,oxidative stress and tissue selenium concentration of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*)[J].Aquaculture Nutrition,2011,17(3):e741–e749.

[11] LIN Y H.Effects of dietary organic and inorganic selenium on the growth,selenium concentration and meat quality of juvenile grouper *Epinephelus malabaricus*[J].Aquaculture,2014,430:114–119.

[12] 曹娟娟,张文兵,徐玮,等.大黄鱼幼鱼对饲料硒的需求量[J].水生生物学报,2015,39(2):241–249.

[13] ASHOURI S,KEYVANSHOKOOH S,SALATI A P,et al.Effects of different levels of

dietary selenium nanoparticles on growth performance,muscle composition,blood biochemical profiles and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*)[J].Aquaculture,2015,446:25–29.

[14] HILTON J W,HODSON P V,SLINGER S J.The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*)[J].The Journal of Nutrition,1980,110(12):2527–2535.

[15] WATANABE T,KIRON V,SATOH S.Trace minerals in fish nutrition[J].Aquaculture,1997,151(1/2/3/4):185–207.

[16] DEFOREST D K,BRIX K V,ADAMS W J.Critical review of proposed residue-based selenium toxicity thresholds for freshwater fish[J].Human and Ecological Risk Assessment:An International Journal,1999,5(6):1187–1228.

[17] HAMILTON S J.Review of selenium toxicity in the aquatic food chain[J].Science of the Total Environment,2004,326(1/2/3):1–31.

[18] LIN Y H,SHIAU S Y.Dietary selenium requirements of juvenile grouper,*Epinephelus malabaricus*[J].Aquaculture,2005,250(1/2):356–363.

[19] 田文静,李二超,陈立侨,等.酵母硒对中华绒螯蟹幼蟹生长、体组成分及抗氧化能力的影响[J].中国水产科学,2014,21(1):92–100.

[20] COTTER P A,CRAIG S R,MCLEAN E.Hyperaccumulation of selenium in hybrid striped bass:a functional food for aquaculture?[J].Aquaculture Nutrition,2008,14(3):215–222.

[21] 谈枫,梁萌青,郑珂珂,等.鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)养殖中期对饲料硒的需求量[J].渔业科学进展,2015,36(3):93–100.

[22] ZHU Y,CHEN Y J,LIU Y J,et al.Effect of dietary selenium level on growth performance,body composition and hepatic glutathione peroxidase activities of largemouth bass *Micropterus salmoide*[J].Aquaculture Research,2012,43(11):1660–1668.

[23] HARDY R W,ORAM L L,MÖLLER G.Effects of dietary selenomethionine on cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki bouvieri*) growth and reproductive performance over a life cycle[J].Archives of Environmental Contamination and Toxicology,2010,58(1):237–245.

[24] ARSHAD U,TAKAMI G A,SADEGHI M,et al.Influence of dietary *L*-selenomethionine exposure on growth and survival of juvenile *Huso huso*[J].Journal of Applied Ichthyology,2011,27(2):761–765.

[25] LE K T,FOTEDAR R.Bioavailability of selenium from different dietary sources in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*)[J].Aquaculture,2014,420–421:57–62.

[26] 李小霞,陈锋,潘庆,等.硒源对凡纳滨对虾生长、体组成和抗氧化能力的影响[J].水产科学,2016,35(3):199–203.

[27] LIN Y H,SHIAU S Y.Mutual sparing of dietary requirements for alpha-tocopherol and selenium in grouper,*Epinephelus malabaricus*[J].Aquaculture,2009,294(3/4):242–245.

[28] BELL J G,COWEY C B.Digestibility and bioavailability of dietary selenium from fishmeal,selenite,selenomethionine and selenocystine in Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J].Aquaculture,1989,81(1):61–68.

[29] ILHAM,FOTEDAR R,MUNILKUMAR S.Effects of organic selenium supplementation on growth,glutathione peroxidase activity and histopathology in juvenile barramundi (*Lates calcarifer* Bloch 1970) fed high lupin meal-based diets[J].Aquaculture,2016,457:15–23.

[30] 梁萌青,王家林,常青,等.饲料中硒的添加水平对鲈鱼生长性能及相关酶活性的影响[J].中国水产科学,2006,13(6):1017–1022.

[31] JOVANOVIC A,GROUBOR-LAJSIC G,DJUKIC N,et al.The effect of selenium on antioxidant system in erythrocytes and liver of the carp (*Cyprinus carpio* L.)[J].Critical Reviews in Food Science and Nutrition,1997,37(5):443–448.

[32] RIDER S A,DAVIES S J,JHA A N,et al.Bioavailability of co-supplemented organic and inorganic zinc and selenium sources in a white fishmeal-based rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2010,94(1):99–110.

[33] DOTAN Y,LICHTENBERG D,PINCHUK I.Lipid peroxidation cannot be used as a universal criterion of oxidative stress[J].Progress in Lipid Research,2004,43(3):200–227.

[34] LEVANDER O A.A global view of human selenium nutrition[J].Annual Review of Nutrition,1987,7(1):227–250.

[35] MONTEIRO D A,RANTIN F T,KALININ A L.The effects of selenium on oxidative stress biomarkers in the freshwater characid fish matrinxã,*Brycon cephalus* (Günther,1869) exposed to organophosphate insecticide Folisuper 600 BR® (methyl parathion)[J].Comparative Biochemistry and Physiology:Part C,2009,149(1):40–49.

[36] 覃希,黄凯,刘康,等.维生素E和硒对吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼生长及血清抗氧化酶活性的影响[J].渔业科学进展,2014,35(4):77–84.

[37] 许明珠,张琴,童潼,等.饲料中硒含量对方格星虫稚虫生长、体成分、组织硒含量及相关酶活性的影响[J].动物营养学报,2015,27(6):1733–1739.

[38] LE K T,FOTEDAR R.Toxic effects of excessive levels of dietary selenium in juvenile yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*)[J].Aquaculture,2014,433:229–234.

[39] BHANDARI B.Trace elements in human health and disease[J].Quarterly Medical Review,1983,34(4):1–33.

[40] SCHRAUZER G N.Selenomethionine:a review of its nutritional significance,metabolism and toxicity[J].The Journal of Nutrition,2000,130(7):1653–1656.

Effects of Selenium Source and Selenium Level on Growth Performance, Liver and Serum Antioxidant Indices and Selenium Content in Tissues of Juvenile Cobia (*Rachycentron canadum*)

YANG Yuanzhi[1] NIE Jiaquan[1*] TAN Beiping[1,2] DONG Xiaohui[1,2**] YANG Qihui[1] CHI Shuyan[1]

(1. *Laboratory of Aquatic Animal Nutrition and Feed*, *Fisheries College*, *Guangdong Ocean University*, *Zhanjiang* 524088, *China*; 2. *South China Sea Bio-Resource Exploitation and Utilization Collaborative Innovation Center*, *Guangzhou* 510006, *China*)

Abstract: A feeding trial was carried out to investigate the effects of selenium (Se) source and Se level on growth performance, liver and serum antioxidant indices and Se content in tissues of juvenile cobia (*Rachycentron canadu*m), in order to determine the Se requirement from different Se sources of juvenile cobia. Nine experimental diets （control diet was shared） were prepared by supplementing 0 （control）, 0.3, 0.6, 0.9 and 1.2 mg/kg Se from sodium selenite (Se-S) and selenium methionine (Se-Met), respectively. Juvenile cobia with an initial body weight of (22.18±0.35) g were fed to satiation for 10 weeks. Fish in three cages (replicates) were fed a kind of experimental diet and 30 fish in a cage. The results showed as follows: 1) Se level extremely significantly affected the weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) (P<0.01), but did not significantly affected the feed conversion ratio （FCR） and survival rate (SR) (P>0.05). The SGR, WGR, FCR and SR were not affected by Se source and the interaction of Se source and Se level (P>0.05). With the Se level increasing, the SGR and WGR were increased firstly and then decreased. 2) The glutathione peroxidase (GSH-Px), glutathione reductase (GR) activities and malondialdehyde (MDA) content in liver and GSH-Px activity in serum were extremely significantly affected by Se level (P<0.01), and GR activity in serum was significantly affected by Se level (P<0.05). The GR, total superoxide dismutase (T-SOD), catalase (CAT) activities and MDA content in liver and T-SOD activity in serum were extremely significantly affected by Se source (P<0.01). The interaction of Se level and Se source had significant effects on liver CAT activity, MDA content and serum T-SOD activity (P<0.05). With the Se level increasing, the activity of GSH-Px in liver and serum was increased firstly and then stabilized, and the GR activity in liver and serum was firstly decreased and then stabilized. The highest GSH-Px activity and the lowest GR activity in liver were obtained at the 0.9 mg/kg added level from two Se sources. The CAT activity in liver was increased with the Se level increasing. 3) Se content in vertebrae, liver and whole body was increased with Se level increasing. Se content in vertebrae was extremely significantly affected by Se source (P<0.01). Se content in liver and vertebrae was extremely significantly affected by the interaction of Se level and Se source (P<0.01). In conclusion, using Se-Met and Se-S as Se sources, the highest SGR of juvenile cobia can be obtained when dietary Se level is 1.29 and 1.46 mg/kg, respectivly, by quadratic polynomial regression equations. With SGR and Se content in whole body as dependent variables, the biological utilization of Se-Met is 1.20 and 2.90 times that of Se-S, respectivly.

**Contributed equally
*Corresponding author, professor, E-mail: dongxiaohui2003@163.com

Key words: juvenile cobia (*Rachycentron canadu*m); selenium; growth performance; antioxidant enzyme; selenium accumulation